

# ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Сокол Е.И., Кипенский А.В., Колесник К.В.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника»

Лаборатория биомедицинской электроники

НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина

Тел./факс: (057) 707-6312, kolesniknet@ukr.net.

**Annotation** – the work proposes a formalized approach to quality assessment of radio equipment and systems of biological objects parameters control, this approach essentially simplifies the procedure.

**Key words** - radio electronic equipment, quality assurance, biological objects.

## ВВЕДЕНИЕ

В ряде случаев, для получения информации о характеристиках различных пространственных объектов, целесообразно использовать радиотехнические системы специального назначения. В отличие от радиотехнических систем связи и радиолокационных систем, данные системы в общем случае предназначены не только для передачи информации потребителям и/или определения пространственного положения объекта контроля. Они, прежде всего, предназначены для определения качественных показателей объекта, а в некоторых случаях даже обладают возможностью непосредственного влияния на эти показатели с использованием сигнала обратной связи. При этом к качественным показателям пространственных объектов принято относить физико-химические характеристики, определяющие их свойства.

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Определенная группа радиотехнических систем специального назначения предназначена для взаимодействия с биологическим пространственным объектом, в частности с человеком, что характерно для систем медицинского назначения [1] и систем обеспечения безопасности [2]. Следует отметить, что для контроля физи-

ко-химических характеристик биологических объектов в настоящее время используется практически весь спектр электромагнитных полей (от единиц Гц до сотен ГГц), а также акустические, тепловые, гравитационные поля и ионизирующие излучения [3-5].

Особенности биологических объектов в обоих случаях накладывают на радиотехнические системы ряд ограничений, которые определяют их структуру [6-8].

Исходя из функционального назначения рассматриваемых радиотехнических систем, можно определить их обобщенную структуру. При этом, структура, приведенная на рис. 1, а, позволяет определять параметры поля, создаваемого самим биологическим объектом, а структура, приведенная на рис. 1, б, предназначена для оценки влияния биологического объекта на характеристики тестового поля.

В первом случае (см. рис. 1, а) поле биологического объекта воспринимается приемником (ПРМ), выходной сигнал (параметр) которого претерпевает дальнейшее преобразование в электрический сигнал с заданными характеристиками в первичном преобразователе (П). Далее, с помощью АЦП выходной сигнал преобразователя оцифровывается и вводится в микроконтроллер (МК) для последующей обработки. При необходимости информация о характеристиках (состоянии) биологического объекта может быть зарегистрирована (отображена) специальным блоком (БРО).

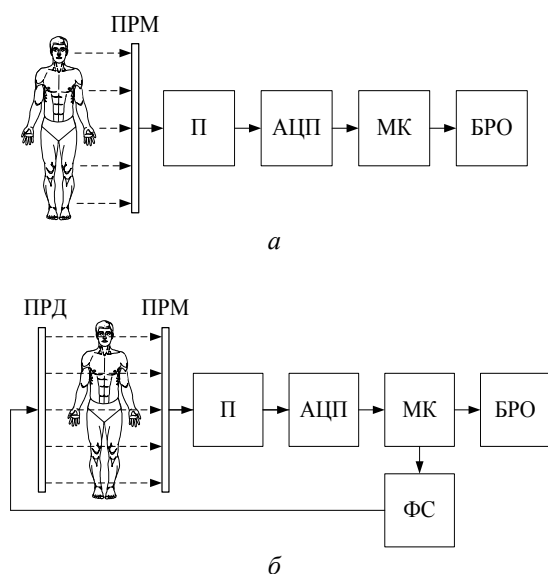


Рис. 1. Структуры радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов

При воздействии на биологический объект тестовым полем, радиотехническая система (см. рис. 1, б) дополнительно снабжается формирователем сигнала (ФС) с заданными параметрами и системой передатчик-приемник (ПРД-ПРМ), обеспечивающей формирование поля в заданном объеме и с заданными параметрами. При этом параметры тестового поля задаются микроконтроллером (МК).

Геометрические характеристики (объем) формируемого тестового поля определяются назначением радиотехнической системы. Если это система обеспечения безопасности, то расстояние между передатчиком и приемником может составлять от единиц до сотен метров. В том случае, если система предназначена для медицинского использования, это расстояние составляет от единиц до сотен сантиметров.

В обоих случаях в зависимости от характера поля и необходимой диаграммы направленности его источники могут иметь как объемный, так и точечный характер. По конструктивному исполнению устройства могут быть моноблочными – когда источник поля и приемник конструктивно расположены в одном блоке, так и многоблочные.

Существенной особенностью радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов является повышенные требования к уровням мощности формируемого поля. В случае систем безопасности этот уровень определяется помехозащищенностью и необходимостью исключения ложных срабатываний [2, 7]. В системах медицинского назначения мощность поля определяется граничными значениями допустимых доз и пороговыми значениями, обеспечивающими заданное физиологическое действие поля на биологический объект [8, 9].

Общие принципы построения радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов, позволяют определить и общие закономерности в вопросе оценки их качества, как на этапе создания, так и при эксплуатации.

Важность задач, решаемых радиотехническими системами контроля параметров биологических объектов, предъявляет повышенные требования к качеству их функционирования. В связи с этим, цель данной работы состоит в совершенствовании методики оценки качества подобных систем за счет использования формализованного подхода к выбору соответствующих критериев этой оценки.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Для систем обеспечения безопасности качество определяется вероятностью обнаружения нарушителя и возможностью выполнения функции защиты от проникновения на охраняемый объект [2].

Для медицинских систем диагностического назначения качество определяется возможностью получения достоверной информации (при минимальной дозе воздействия, если оно есть) о состоянии пациента [10]. От этого, в конечном итоге, зависит его здоровье, а иногда и жизнь. В медицинских терапевтических системах под качеством принято понимать некоторую совокупность функциональных возможностей,

обеспечивающих высокую точность дозирования воздействия при широком диапазоне варьирования частотно-временными параметрами [11].

В общем случае, понимая под качеством радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов некоторую совокупность свойств, обуславливающих их способность выполнять заданные функции в определенных условиях применения (эксплуатации), показатель качества можно определить как функцию двух многопараметрических переменных [12]:

$$\vec{K} = f(\vec{P}_q, \vec{G}_\mu) \quad (1)$$

Переменная  $\vec{P}_q$  определяет зависимость качества конкретной системы от технологических особенностей ее создания. Она зависит от принципа первичного преобразования физико-химических параметров биологического объекта, выбранных схмотехнических решений для элементов и узлов радиотехнических систем, технологического исполнения и т.д. Сегодня для оценки технологической составляющей качества радиотехнических систем существует целый ряд методов, предполагающих широкое использование вычислительной техники [13, 14].

Вторая переменная  $\vec{G}_\mu$  предназначена для учета особенностей условий применения системы и дает возможность оценить влияние на ее качество внешних дестабилизирующих факторов. Наличие этой переменной позволяет оценить качество функционирования системы в конкретных условиях применения.

Для создания радиотехнической системы контроля параметров биологических объектов, оптимальной по отношению к конкретным условиям применения, предполагается осуществлять дискретный выбор из определенного множества имеющихся систем данного назначения  $M_\mu$ , при  $\mu = 1, 2, 3, \dots, m$ , способных решать поставленную задачу [13].

Для осуществления дискретного выбора необходимо провести сравнительную оценку качества систем по заданным критериям. При этом следует иметь в виду, что каждая из этих систем обладает своей зависимостью от различных факторов условий применения (температуры, атмосферного давления, влажности, электромагнитных излучений и др.) –  $P_j$ , при  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . С учетом всех факторов условий применения каждый  $i$ -й критерий качества, при  $i = 1, 2, 3, \dots, k$  может быть определен как:

$$\vec{k}_{i,j} = f(P_j) \quad (2)$$

для каждой системы  $M_\mu$ .

Вторая составляющая показателя качества для каждой системы ( $\vec{G}_\mu$ ) определяется в зависимости от критериев качества  $k_{i,j}$  для всех факторов условий применения:

$$\vec{G}_\mu = f(k_{i,j}) \quad (3)$$

Однако, учитывая, что функции  $k_{i,j}$  в общем случае нелинейные – функция  $\vec{G}_\mu$  нелинейная тоже. Поэтому оптимизация радиотехнической системы контроля параметров биологических объектов по факторам условий применения в физическом измерении параметров этих факторов является непростой задачей.

Кроме того, на практике зачастую оптимальное значение одного критерия не совпадает с другими, что затрудняет синтез системы (рис. 2).

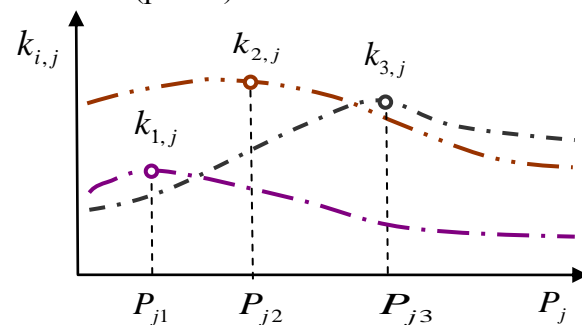


Рис. 2. Зависимость критериев качества конкретной системы от одного из факторов условий применения

Это обстоятельство делает целесообразным введение для каждой системы некоторого обобщенного критерия качества  $\bar{K}_{\mu,i,j\Sigma}$ , представляющего интегральный показатель, который учитывает особенности всех вышеуказанных критериев качества от конкретного фактора условий применения:

$$\bar{K}_{\mu,i,j\Sigma} = f_{\mu}(k_{1,j}, k_{2,j}, \dots, k_{i,j}). \quad (4)$$

При этом для сравнительной оценки эффективности двух систем от конкретного фактора условий применения, достаточно провести сравнение их обобщенных критериев качества в заданном диапазоне изменения параметра этого фактора  $\Delta P_j$  (рис. 3).

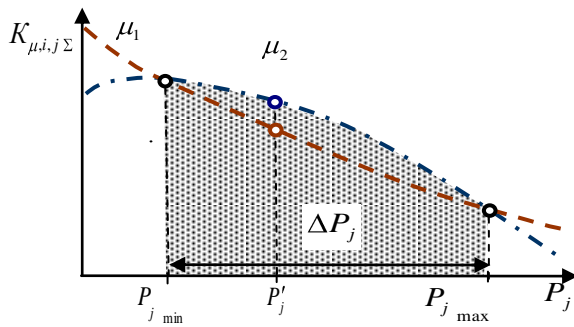


Рис. 3. Выбор оптимальной системы для одного фактора условий применения

Результатом сравнения систем в диапазоне  $\Delta P_j$  (рис. 3) является условие:

$K_{2,i,j\Sigma} \geq K_{1,i,j\Sigma}$ , что означает — в этом диапазоне вторая система является предпочтительной. При этом диапазон изменения параметра фактора условий применения  $\Delta P_j$  задается ограничениями типа равенств и неравенств:

$$\begin{cases} P_{j,\min} \leq P_j \leq P_{j,\max}; \\ P_j = P'_j, \end{cases} \quad (5)$$

где  $P'_j$  — некоторое значение фактора условия применения в заданном диапазоне  $\Delta P_j$ .

Для решения задачи дискретного выбора радиотехнической системы контроля параметров биологических объектов применительно к конкретным факторам условий применения, можно оценить их эффективность  $\bar{E}_{\mu} = f(\bar{K}_{\mu,i,j\Sigma})$  при известных значениях обобщенных критериев качества (рис.4). Из рис. 4 видно, что наибольшей эффективностью для конкретного фактора условий применения обладает  $\mu$ -я система.

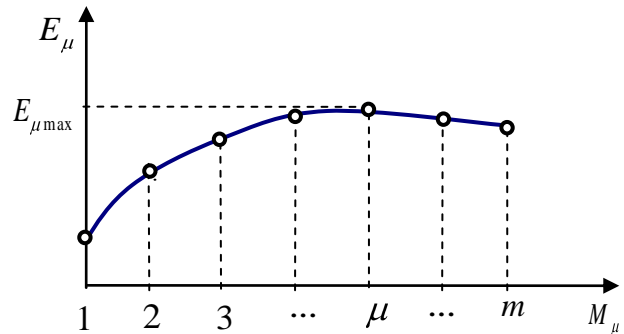


Рис.4. Зависимость эффективности системы от обобщенного критерия качества

Таким образом, используя обобщенный критерий качества  $\bar{K}_{\mu,i,j\Sigma}$  задачу дискретного выбора оптимального устройства можно свести к классической задаче нелинейной многокритериальной оптимизации [13]. Однако, этот метод хотя и упрощает процедуру оптимизации, но не исключает необходимость многокритериального выбора. Кроме того, обобщенный критерий не позволяет оценить влияние отдельных факторов, что не всегда удобно. Поэтому для дальнейшего упрощения процедуры оптимизации, целесообразно рассмотреть некоторые формализованные подходы к решению задачи.

#### ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Для формализации процесса оценки качества радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов будем считать, что имеется  $m$  систем, способных решать поставленную задачу, и для всех сис-

тем определена в численном виде зависимость критериев качества  $k_{i,j}$  от факторов условий применения  $P_j$  (рис. 5).

Также являются заданными пороговые значения каждого критерия качества для всех факторов условий применения, в пределах которого должна быть обеспечена работоспособность системы.

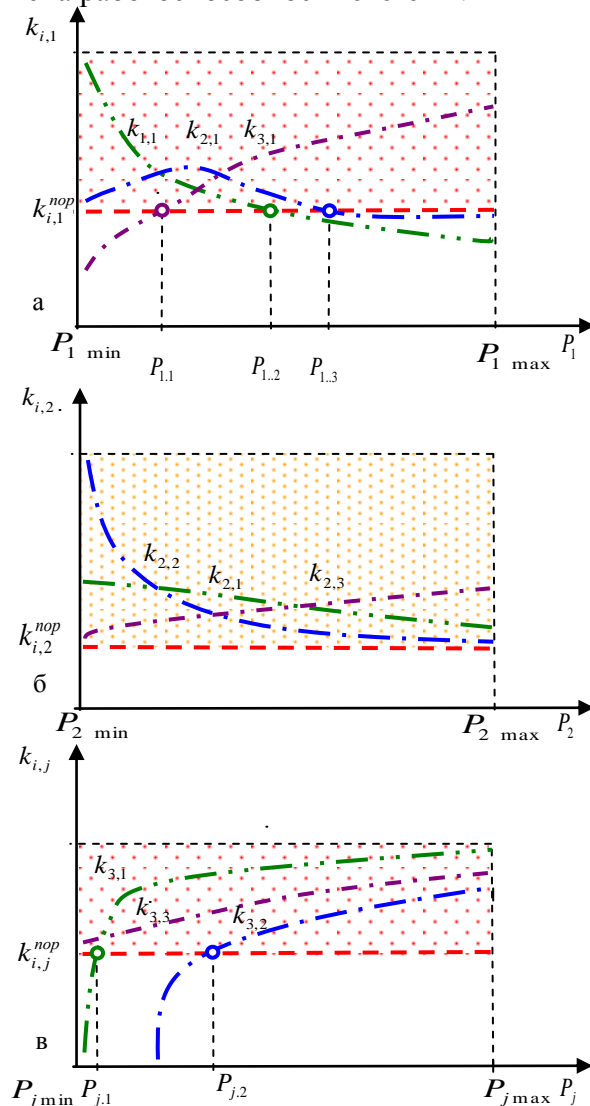


Рис. 5. Зависимость критериев качества от факторов условий применения одной системы

На рис. 5, а приведены зависимости критериев качества одной системы от первого фактора условий применения. Из рисунка видно, что система удовлетворяет условию (5) по первому критерию в диапазоне первого фактора условий при-

менения от  $P_{1 \min}$  до  $P_{1.2}$ , второму – от  $P_{1 \min}$  до  $P_{1.3}$ , третьему – от  $P_{1.1}$  до  $P_{1 \max}$ .

На рис. 5, б представлены зависимости критериев качества этой же системы от второго фактора условий применения. При этом система является допустимой во всем диапазоне второго фактора условий применения от  $P_{2 \min}$  до  $P_{2 \max}$  для всех критериев.

На рис. 5, в показаны зависимости этой системы от некоторого  $j$ -го фактора условий применения. При этом система удовлетворяет условию (5) по первому критерию в диапазоне  $j$ -го фактора условий применения от  $P_{j1}$  до  $P_{j \max}$ , второму – от  $P_{j2}$  до  $P_{j \max}$ , третьему – от  $P_{j \min}$  до  $P_{j \max}$ .

Очевидно, что каждая последующая система в зависимости от особенностей своего исполнения будет иметь свои зависимости критериев качества от факторов условий применения. Описать функционалы всех нелинейных зависимостей  $k$  критериев качества для  $m$  систем от всех  $n$  факторов условий применения является достаточно сложной задачей. Поэтому при создании радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов для сравнительной оценки качества различных систем, в основном, используются эвристические методы, основанные на интуиции и опыте специалистов-конструкторов.

Для упрощения процесса оценки качества предлагается методика формализации критериев качества [14, 15], основанная на использовании в качестве формализованных критериев способности системы обеспечивать необходимые технико-экономические характеристики, в пределах определенных диапазонов изменений факторов условий применения  $\Delta P_j$ . Такая формализация обеспечивается путем замены физических значений фактора  $P_j$  на дискретные относительные значения этого фактора (рис. 6). При этом формализованные критерии качества  $N_{\eta,j}$  будут представлять собой численный ряд натуральных чисел от 1 до  $n$ .

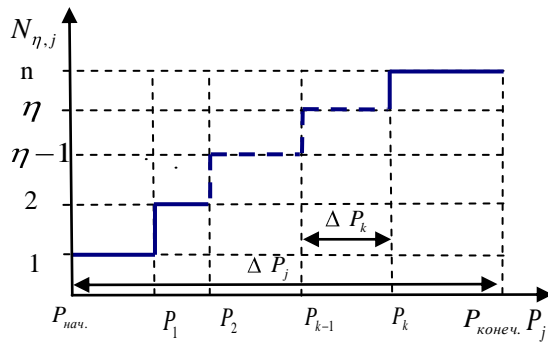


Рис. 6. Зависимость формализованного критерия качества от факторов условий применения

Для формирования ряда выбранный диапазон  $\Delta P_j$  изменения значений  $j$ -го фактора условий применения системы от начального значения  $P_{нач.}$  до конечного значения  $P_{конеч.}$  разделяется на некоторое количество поддиапазонов  $\Delta P_k$ , в пределах каждого из которых реальным значениям фактора  $P_j$  формально присваиваются значения  $\eta = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Конкретные значения формализованного критерия качества  $N_{\eta,j}$  обозначены как  $A_{\mu,j}$ , и определяются для каждого критерия качества как граничные значения данного критерия в пределах каждого дискретного поддиапазона изменения фактора условий применения  $\Delta P_k$ .

Информацию о формализованных показателях качества для  $m$  систем можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

**Формализованные критерии качества систем контроля параметров биологических объектов**

$N_{\eta,j}$ $M_\mu$	$N_{1,j}$	$N_{2,j}$	...	$N_{\eta,n}$
1	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	...	$A_{1,n}$
2	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	...	$A_{2,n}$
3	$A_{3,1}$	$A_{3,2}$	...	$A_{3,n}$
...	...	...	...	...
$m$	$A_{m,1}$	$A_{m,2}$	...	$A_{m,n}$

Данные табл. 1 можно представить в виде матрицы формализованных критериев качества систем контроля параметров биологических объектов:

$$\vec{A} = \left\{ A_{m,n} \right\} = \begin{Bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & A_{1,n} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & A_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m,1} & A_{m,2} & \dots & A_{m,n} \end{Bmatrix}. \quad (6)$$

Аналогичным образом приводятся к формализованным показателям, определенным согласно рис. 6, заданные значения диапазонов изменения факторов условий применения, которым должна удовлетворять выбранная система (табл. 2):

$$F_j = f(P_j). \quad (7)$$

Таблица 2

**Формализованные значения диапазонов факторов условий применения проектируемой системы контроля параметров биологических объектов**

$F_j$	$F_1$	$F_2$	...	$F_n$
$\Delta P_j$	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$

Данные табл. 2 можно представить в виде матрицы-строки формализованных критериев качества, определяющих фактические условия применения проектируемой системы контроля параметров биологических объектов:

$$\vec{B} = \left\{ B_n \right\} = B_1 B_2 \dots B_n. \quad (8)$$

Как видно, размерность строки матрицы (6) соответствует размерности матрицы-строки (8), поэтому на основании [13] справедливо будет утверждать, что *достаточным условием* для синтеза (дискретного выбора) радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов является то обстоятельство, что каждый формализованный критерий качества выбранной

системы больше соответствующего формализованного фактора имеющихся условий применения, т.е.  $\bar{A}_{m,n} \geq \bar{B}_n$ .

Максимальная эффективность использования системы в заданных условиях применения  $E_{\max}$  достигается, если соответствующие значения элементов матриц  $\bar{A}_{m,n}$  и  $\bar{B}_n$  максимально приближаются друг к другу –  $\|\bar{A}_{m,n} - \bar{B}_n\|$ .

Целевая функция оптимального дискретного выбора радиотехнической системы контроля параметров биологических объектов в зависимости от реальных условий ее применения представляет собой выражение, определяющее максимальную эффективность системы при заданных ограничениях на параметры факторов условий применения:

$$\bar{\Phi} = \bar{E}_{\max} = \left\{ \bar{A}_{m,n} - \bar{B}_n \right\} \quad (9)$$

$$\text{при: } \begin{cases} P_{j,\min} \leq P_j \leq P_{j,\max}; \\ P_j = P'_j. \end{cases}$$

Определение системы с максимальной эффективностью для заданных условий применения и является решением задачи оптимизации радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов применительно к конкретным условиям их применения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование формализованных критериев для оценки качества радиотехнических систем контроля параметров биологических объектов значительно упрощает процедуру их сравнительного анализа при проведении многопараметрического дискретного выбора и выполнении оптимизации. Это позволяет при их создании использовать известные методы математического анализа и возможности вычислительной техники.

[1] Медицинские приборы. Разработка и применение. / под ред. Джон Г. Вебстера. Изд. 3. – Киев: Медторг, 2004. – 620 с.

[2] Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. – М.: Горячая линия – Телеком.– 2008.– 496 с.

[3] Болдина Н.В. Хавина И.П. Физические поля в биологических объектах / Уч. пособие. Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. 203 с.

[4] Сакало С.М., Семенец В.В. Азархов О.Ю. Надвисокі частоти в медицині (терапія і діагностика): Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2005. 264 с.

[5] Колесник К.В., Чурюмов Г.И., Смаглюк В.В. Методы контроля присутствия человека в системах охраны объектов // Техническая электродинамика: Тем. вып. Силовая электроника и энергоэффективность. – Ч. 5. – Киев, 2007. – С. 121-124.

[6] Ливенсон А.Р. Электромедицинская аппаратура. – М.: Медицина, 1981. – 344 с.

[7] Колесник К.В., Поляков Г.Е., Чурюмов Г.И. / Анализ принципов построения и оценка современного технического уровня радиотехнических систем охраны периметров объектов / Техническая электродинамика: Тем. вып. Силовая электроника и энергоэффективность. – Ч.2. – Киев, 2009. – С. 104-108.

[8] J. L. Oschman Energy Medicine: The scientific basis / London: Harcourt Publishers Limited, 2000. – 275 с.

[9] Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология и рентгенология. – М.: Медицина, 1993. – 560 с.

[10] Кипенский А.В. Обеспечение качества изделий медицинской техники средствами микропроцессорного импульсного управления // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Тем. вип. «Автоматика та приладобудування». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 38. – С. 59-63.

[11] Сокол Е.И., Кипенский А.В., Верещак В.А. Анализ показателей качества аппаратов для амплипульстерапии / Техническая электродинамика: Темат. вып. Силовая электроника и энергоэффективность. – Ч.3. – Киев, 2006. – С. 123-134.

[12] Колесник К.В. Кипенский А.В. Мачехин Ю.П. Чурюмов Г.И. Методика оценки качества радиотехнических систем охраны периметров территориально-распределенных объектов // Труды тринадцатой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 2012. – С. 175.

[13] Гуткин Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – Москва: Советское радио, 1975. – 368 с.

[14] Химмельблау Д., Прикладное нелинейное программирование / под ред. М.Л. Быховского. – Москва: Мир, 1975. – 534 с.

[15] Колесник К.В., Мачехин Ю.П., Чурюмов Г.И., Методы статического моделирования радиотехнических систем контроля охранных периметров объектов. // Зб. наук. праць ХУПС МО України. – Системи обробки інформації. – 2010. – №1 (82). – С. 61-65.